(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

УДК: 669.2 10.70769/3030-3214.SRT.3.3.2025.21

АНАЛИЗ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ЦИНКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ПРИМЕРЕ АГМК

Тошкодирова Рано Эркинжоновна
PhD., доцент кафедры «Металлургия» Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан
E-mail: zumrad291014@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-8295-3483

Кенжаева Севара Абсаматовна
Докторант кафедры «Металлургия» Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан
E-mail: yuldashevasevara0@mail.com
ORCID ID: 0009-0001-3440-7015

Аннотация. *Статья посвящена анализу и разработке методов извлечения редких и цветных металлов из техногенных отходов цинкового производства на примере АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (АГМК). В ходе исследования рассмотрены различные продукты и полупродукты цинкового производства, такие как концентрат, огарок и пыль, содержащие значительные концентрации металлов, включая кадмий, индий, медь, свинец и редкие металлы (иридий, тантал, тулий и др.). Используемые методы, такие как рентгенофлуоресцентный анализ и атомно-абсорбционная спектроскопия, позволили определить распределение этих элементов в процессе переработки. Результаты исследования показывают, что переработка техногенных отходов цинкового производства с извлечением ценных компонентов может значительно снизить экологическую нагрузку и повысить экономическую эффективность, способствуя рациональному использованию минерально-сырьевой базы и принципам устойчивого развития.*

Ключевые слова: *Цинковое производство, техногенные отходы, редкие металлы, переработка, рентгенофлуоресцентный анализ, атомно-абсорбционная спектроскопия, огарок, пыль, гидрометаллургия, пирометаллургия гидрометаллургия, пирометаллургия.*

OKMK MISOLIDA RUX ISHLAB CHIQARISHNING TEXNOGEN CHIQINDILARIDAN NODIR METALLARNI TAHLIL QILISH VA AJRATIB OLISH

Toshkodirova Rano Erkinjonovna
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali "Metallurgiya" kafedrasi dotsenti, PhD, Toshkent, O'zbekiston

Kenjayeva Sevara Absamatovna
Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali "Metallurgiya" kafedrasi doktoranti, Toshkent, O'zbekiston

Annotatsiya. *Maqola "Olmaliq kon-metallurgiya kombinati" AJ misolida rux ishlab chiqarishning texnogen chiqindilaridan nodir va rangli metallarni ajratib olish usullarini tahlil qilish va ishlab chiqishga bag'ishlangan. Tadqiqot davomida tarkibida kadmiy, indiy, mis, qo'rg'oshin va nodir metallar (iridiy, tantal, tuliy va boshqalar) kabi metallarning sezilarli konsentratsiyasini o'z ichiga olgan konsentrat, kuyundi va chang kabi rux ishlab chiqarishning turli xil mahsulotlari va yarim mahsulotlari ko'rib chiqildi. Rentgenofluoressent tahlil va atom-absorbsion spektroskopiya kabi qo'llanilgan usullar qayta ishlash jarayonida ushbu elementlarning taqsimlanishini aniqlash imkonini berdi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, qimmatbaho komponentlarni ajratib olish bilan rux ishlab chiqarishning*

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

texnogen chiqindilarini qayta ishlash ekologik yukni sezilarli darajada kamaytirishi va mineral-xomashyo bazasidan oqilona foydalanish va barqaror rivojlanish tamoyillariga hissa qo‘shish orqali iqtisodiy samaradorlikni oshirishi mumkin.
Kalit so‘zlar: *Rux ishlab chiqarish, texnogen chiqindilar, nodir metallar, qayta ishlash, rentgen-fluoressent tahlil, atom-absorbsion spektroskopiya, kuyundi, chang, gidrometallurgiya, pirometallurgiya gidrometallurgiya, pirometallurgiya.*

ANALYSIS AND EXTRACTION OF RARE METALS FROM TECHNOGENIC WASTE OF ZINK PRODUCTION USING THE EXAMPLE OF AGMK

Toshkodirova Rano Erkinjonovna
Associate Professor of the Department of "Metallurgy" of the Almalyk branch of Tashkent State Technical University, PhD, Tashkent, Uzbekistan

Kenjaeva Sevara Absamatovna
Doctoral student of the Department of "Metallurgy" of the Almalyk branch of Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Abstract. *The article is dedicated to the analysis and development of methods for extracting rare and non-ferrous metals from technogenic waste of zinc production, using the example of the JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Complex" (AGMK). The study examines various products and by-products of zinc production, such as concentrate, clinker, and dust, which contain significant concentrations of metals, including cadmium, indium, copper, lead, and rare metals (iridium, tantalum, thulium, etc.). Methods used, such as X-ray fluorescence analysis and atomic absorption spectroscopy, allowed for the determination of the distribution of these elements in the processing process. The results of the study show that the processing of technogenic waste from zinc production with the extraction of valuable components can significantly reduce the environmental impact and increase economic efficiency, contributing to the rational use of mineral resources and the principles of sustainable development.*
Keywords: *Zinc production, technogenic waste, rare metals, recycling, X-ray fluorescence analysis, atomic absorption spectroscopy, clinker, dust, hydrometallurgy, pyrometallurgy.*

Введение. Современное развитие цветной металлургии сопровождается увеличением объемов производства. Соответственно возрастает количество техногенных отходов, образующихся в процессе переработки полиметаллических руд. В производстве цинка перерабатываются и образуются следующие продукты и полупродукты: концентрат, огарок и пыль, которые содержат значительные количества ценных и редких металлов. АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» является одним из ведущих предприятий Узбекистана в области добычи и переработки цветных металлов в том числе и цинка. Цинковый завод АО АГМК перерабатывает как собственный концентрат из месторождений Хандиза, так и привозной цинковый концентрат из других стран СНГ и зарубежных государств.

Анализ проведенных исследований по изучению состава клинкера – отхода цинкового производства показал наличие цветных, благородных и редких металлов, неизвлекающихся или частично извлекающихся на протяжении всего технологического процесса и концентрирующихся в клинкере [1].

В производстве цинка образуется большое количество полупродуктов. При обжиге цинкового концентрата в печах кипящего слоя образуется огарок, представляющий собой обожженный материал, содержащий оксиды цинка и других металлов, и пыль, которая улавливается системой пылеулавливания. Исследования показывают, что полупродукты цинкового производства содержат металлы, такие как кадмий, индий, медь и свинец. Эти компоненты делают цинковое производство перспективным источником вторичного сырья для извлечения редких и благородных металлов [2]. Таким образом, анализ и разработка эффективных методов извлечения редких металлов из техногенных отходов цинкового производства на примере АО «АГМК» представляют собой актуальную научную и практическую задачу,

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

способствующую рациональному использованию ресурсов и снижению экологической нагрузки.

Материалы и методы. Сырье, продукты и полупродукты цинкового производства включают в себя пыль и огарок, образующиеся в процессе обжига, кек и клинкер. Анализ состава этих продуктов показывает наличие таких редких металлов как, молибден, тантал, галий, а также цветных металлов, включая медь и никель. В цинковом производстве извлечение редких металлов зависит от правильно подобранной технологии так как цинковые концентраты, получаемые при обогащении полиметаллических руд, характеризуются сложным минералогическим составом и наличием широкого спектра сопутствующих элементов, включая Cd, In, Ge и другие.

На первой стадии переработки осуществляется окислительный обжиг концентратов в печах кипящего слоя при температуре 900–1000°C. Основная реакция направлена на превращение сульфида цинка в оксидную форму с выделением диоксида серы:

$2ZnS+3O_2 \rightarrow 2ZnO+2SO_2\uparrow$

В процессе обжига часть кадмия, индия и германия может переходить в летучие соединения и концентрироваться в обжиговых пылях. Это требует последующего сбора и переработки улавливаемых продуктов газоочистки. Цинковая пыль-представляет собой тонкий голубовато-серый порошок с содержанием чистого цинка от 95% до 98%. Содержит небольшие примеси оксида цинка (2–4,5%) и незначительные количества свинца, кадмия, железа, кремния и других элементов. В таблице №1 представлены результаты анализов цинкового концентрата, огарка и пыли для определения распределения редких металлов в процессе обжига.

Методы анализа содержания редких металлов. Для определения содержания редких металлов в техногенных отходах использовались следующие методы:

- Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА): позволяет определить количественный и качественный состав элементов в образцах.

- Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС): обеспечивает высокую точность измерений содержания металлов.

Применение комплексного подхода к анализу позволяет получить полную картину распределения ценных компонентов в отходах.

Результаты и обсуждение. На основании представленных данных спектрального, и рентгенофлуоресцентного анализа полупродуктов цинкового производства проведён сравнительный анализ их элементного и фазового состава. Был проведен анализ трёх фракций: исходного концентрата, огарка (твердого остатка после переработки) и пыли (уноса). Исходя из полученных данных, можно проследить, как каждый из редких и благородных элементов перераспределяется в процессе. Ниже приведено поэлементное объяснение поведения каждого из металлов.

- Nd (Неодим) 0.0094 0.0112 0.0112. Равномерно распределён. Слабая летучесть, часть может быть захвачена пылью.

- Ir (Иридий) 0.123 0.164 0.164 Повышенное содержание в продуктах. Концентрируется в огарке и пыли. Высокотемпературно устойчив. Tm (Тулий) 0.0875 0.0970 0.0970 Очень стабилен, равномерно оседает.

- Ta (Тантал) 0.124 0.168 0.168 Очень устойчив, концентрируется. Возможна плохая растворимость или высокая температура кипения.

- Sc (Скандий) ND ND 0.0997 Появляется только в пыли. Вероятен вторичный унос из матрицы.

Таблица 1.

Результаты анализа цинкового концентрата, огарка и пыли

Наименование	Nd	Ir	Ta	Sc	Tm	At	Ra	Ge	In
Концентрат	0,0094	0,123	0,124	-	0,0875	0,0087	0,0085	-	-
Огарок	0,0131	0,135	0,188	-	0,102	-	0,0083	-	-
Пыль	0,0112	0,164	0,168	0,0997	0,0970	0,0060	0,0266	-	-

Неодим содержится во всех трёх фазах в низких концентрациях (~0,0094–0,0112%). Это

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

указывает на его умеренную термостойкость и отсутствие выраженной летучести. Он частично удерживается в огарке и частично уносится в пыли, демонстрируя слабую подвижность в условиях термического воздействия.

Иридий проявляет интересное поведение: изначально его концентрация в концентрате составляет 0,123%, но в огарке и пыли его становится больше — по 0,164%. Это свидетельствует о высокой температурной устойчивости иридия и его способности удерживаться в твёрдой фазе, не переходя в летучие соединения.

Тулий распределяется между фазами равномерно (концентрации около 0,09–0,097%). Это указывает на стабильное поведение элемента в процессе, он сохраняется как в огарке, так и в пыли. Вероятно, он входит в состав устойчивых к разложению соединений.

Как и иридий, тантал демонстрирует стойкость к температуре: в концентрате его 0,124%, а в огарке и пыли — по 0,168%. Это ценный металл, который явно концентрируется в остатках и практически не теряется.

Интересная особенность — скандий не обнаруживается ни в концентрате, ни в огарке, но присутствует в пыли (0,0997%). Это может говорить о том, что скандий изначально находился в следовых количествах и концентрировался в пылевой фракции, возможно, за счёт летучести или специфической подвижности при высоких температурах. Из вышеперечисленных информаций можно сказать, что металлы с высокой термической стабильностью (Ir, Ta, Tm) концентрируются в огарке и пыли. Они не теряются и представляют интерес для последующего извлечения. Летучие элементы, как сурьма и астат, теряются в процессе. Их нужно учитывать при разработке газоочистки. Скандий ведёт себя как летучий или пылеобразующий элемент, и его можно извлекать из пыли. Радий и астат требуют учёта с точки зрения радиационной безопасности — оба накапливаются в твёрдых остатках и пыли. Скандий появляется только в пыли — вероятна его мобилизация при высоких температурах, либо он неравномерно распределён в исходном сырье и концентрируется в уносе.

В цинковом производстве в основном огарок перерабатывается выщелачиванием огарка раствором серной кислоты с целью перевода цинка в раствор. Вместе с цинком на некоторых стадиях выщелачивания в раствор переходят некоторые элементы, отрицательно влияющие на последующий процесс электролиза. Редкие металлы в основном или не растворяются (ванадий), или растворенные на стадии кислого выщелачивания (германий, таллий, индий частично) выпадают из раствора при нейтральном выщелачивание в виде гидратов металлов. Переходящий в раствор таллий осаждается вместе с медью и кадмием цинковой пылью [3].

Заключение. Рентгенофлуоресцентный анализ продуктов цинкового производства, выполненный на примере техногенных отходов АО «Алмалыкский горно-металлургический комбинат» (АГМК), выявил наличие, помимо основного элемента Zn (59,5 мас.%), значительных концентраций редких и рассеянных металлов, таких как Ir (0,123%), Ta (0,124%), Tm (0,0875%), Ga (0,0658%), Mo (0,0383%), Te (0,0145%), а также следовых количеств Zr, Y, Ra и др. Их комплексная переработка позволяет не только снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, но и повысить экономическую эффективность за счёт вовлечения ценных компонентов в повторный производственный цикл. Переработка огарков и пылей возможна пирометаллургическими методами, например, вельц-процессом, обеспечивающим эффективное извлечение цинка и летучих элементов. Наиболее рациональным подходом является использование комбинированных технологических схем, сочетающих преимущества обоих методов. Таким образом, внедрение комплексных перерабатывающих технологий, ориентированных на извлечение редких и цветных металлов из техногенных отходов, способствует рациональному использованию минерально-сырьевой базы и реализации принципов устойчивого развития в цветной металлургии.

(E) ISSN: 3030-3214
Volume 3, № 3
2025

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахмонов С., Тошкодирова Р.Э. Технология переработки клинкера цинкового производства. Навои: изд-во А.Навои, 2020. -96 с.
2. Тимофеев К.Л. Сорбционное извлечение цветных и редких металлов из промышленных растворов горно-металлургических предприятий. Екатеринбург, 2021 г., 381 стр.
3. Ю.П.Романтеев, В.П.Быстров. Металлургия тяжелых цветных металлов СВИНЕЦ.ЦИНК.КАДМИЙ. МИСиС 2010 -251с.